

УДК 630\*552

DOI: 10.51318/FRET.2021.43.24.003

## СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ДРЕВЕСНОЙ И КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЕРХНЕМ ПРЕДЕЛЕ СВОЕГО ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ПЛАТО ПУТОРАНА

А. С. ТИМОФЕЕВ – магистрант<sup>1</sup>,  
e-mail: artyom-timofeev-98@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0002-2597-0797

С. О. ВЬЮХИН – аспирант<sup>1</sup>  
e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0001-7173-4878

А. А. ГРИГОРЬЕВ – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент<sup>1</sup>,  
e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru  
ORCID ID: 0000-0002-7446-0654

П. А. МОИСЕЕВ – Доктор биологических наук<sup>2</sup>,  
e-mail: moiseev@ipae.uran.ru  
ORCID ID: 0000-0003-4808-295X

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

<sup>2</sup> Институт экологии растений и животных,  
Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

**Рецензент:** Мохначев П. Е., канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. экологии техногенных растительных сообществ Ботанического сада УрО РАН.

**Ключевые слова:** верхняя граница распространения, *Larix gmelinii* (Rupr) Rupr., *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar, возрастная структура, плато Путорана, изменение климата.

Общеизвестно, что каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием начиная с 1950 г. На фоне этих изменений в научной литературе в последнее время появляется все большее количество работ, свидетельствующих об экспансии древесных и кустарниковых видов в арктические и высокогорные экосистемы. В статье приведены результаты исследования формирования древостоев верхней границы леса и зарослей крупных кустарников в одном из малоизученных регионов центрального сектора Субарктики России – плато Путорана. Объектом исследования явились древостои лиственница Гмелина *Larix gmelinii* Rupr. и заросли ольхи кустарниковой *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar. Показано, что на фоне современных изменений климата в последнем столетии (особенно во второй половине) происходило смещение верхней границы распространения древесной и кустарниковой растительности выше в горы. Доказательством данных процессов служит закономерное изменение морфометрических параметров и среднего возраста изучаемых видов по мере продвижения в гору в последнем столетии.

# STRUCTURE AND DYNAMICS OF LARCH STANDS IN THE UPPER PART OF THE MOUNTAIN-FOREST BELT OF THE MASSIF DRY MOUNTAINS (PUTORANA PLATEAU)

A. S. TIMOFEEV – Master's student<sup>1</sup>,  
e-mail: artyom-timofeev-98@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0002-2597-0797

S. O. VYUKHIN – Post-graduate student<sup>1</sup>,  
e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru  
ORCID ID : 0000-0001-7173-4878

A. A. GRIGORIEV – Candidate of Agricultural Sciences<sup>1</sup>,  
e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru  
ORCID ID : 0000-0002-7446-0654

P. A. MOISEEV – Doctor of Biological Sciences<sup>2</sup>  
e-mail: moiseev@ipae.uran.ru  
ORCID ID: 0000-0003-4808-295X

<sup>1</sup> FSBEE HE «The Ural state forest Engineering University»,  
620100 Russia, Yekaterinburg, Sibirsky tract, 37

<sup>2</sup> Institute of Plant and Animal Ecology,  
Russia, Yekaterinburg, St. 8 March, 202

**Reviewer:** Mokhnachev P. E., Candidate of Biological Sciences, sci. sotr. lab. ecology of technogenic plant communities of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Keywords:** forest upper limit, tree stands, Putorana plateau, *Lárix gmélinii* (Rupr) Rupr., *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar, age structure, Putorana plateau, climate change.

It is well known that each of the last three decades has been characterized by a higher temperature at the Earth's surface compared to any previous decade since 1950. Against the background of these changes, an increasing number of works have recently appeared in the scientific literature, indicating the expansion of tree and shrub species into Arctic and high-altitude ecosystems. The article presents the results of a study of the formation of stands of the upper border of the forest and thickets of large shrubs in one of the poorly studied regions of the central sector of the Subarctic of Russia – the Putorana plateau. The object of the study was stands of Gmelin larch (*Larix gmelinii* Rupr.) and thickets of shrub alder (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar). It is shown that against the background of modern climate changes in the last century (especially in the second half), the upper limit of the distribution of woody and shrubby vegetation was shifted higher into the mountains. The proof of these processes is the regular change in morphometric parameters and the average age of the studied species as they move uphill in the last century.

## Введение

Выявление и количественная оценка трансформации высокогорных лесных экосистем на сегодняшний день – одна из актуальных задач для экологии, роль которых значительно повышается на фоне изменения современного климата. Общеизвестно,

что каждое из трёх последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием начиная с 1950 г. [1]. Экосистемы, расположенные в арктических и высокогорных районах, являются одними из

наиболее чувствительных к изменениям климатических условий [2].

## Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель работы – выявление и оценка смещения верхней границы распространения древесной

и кустарниковой растительности, произрастающей на верхнем пределе своего распространения.

Объектами исследований являлись древостой лиственницы Гмелина (*Lárix gmelinii* (Rupr) Rupr.) и заросли ольхи кустарниковой (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar), произрастающие в экотоне верхней границы древесной растительности на западном склоне массива Сухие горы в западной части плато Путорана (N69°24.421'; E090°53.344'). Район исследования расположен на крайнем северо-западе Средне-Сибирского плоскогорья, в пределах северной половины Тунгусской синеклизы Сибирской платформы. Плато Путорана располагается в подзоне северной лиственничной тайги. Горный рельеф района исследо-

вания обуславливает большое разнообразие растительного покрова и отчётливо выраженную высотную зональность в распределении основных типов ландшафтов [3].

Перед началом сбора экспериментального материала осуществлялось маршрутное обследование района исследований, подбирались участки склонов для закладки пробных площадей (ранее не подверженные антропогенному воздействию с хорошо сформированными почвами). Под экотонем верхней границы древесной растительности мы понимаем переходный пояс в горах между верхними границами распространения сомкнутых лесов и отдельных деревьев в тундре.

На профиле в пределах экотона верхней границы древес-

но-кустарниковой растительности три высотных уровня: нижний – у верхней границы редколесий, средний – у верхней границы распространения редин и верхний – у верхней границы распространения отдельных деревьев и кустарников в тундре (рис. 1, 2). На каждом высотном уровне было заложено по 2–3 постоянных пробных площади размером 20 × 20 м вдоль склона, где у каждого дерева и куста ольхи кустарниковой фиксировалось точное местоположение, происхождение (семенное или вегетативное), высота, диаметр на основании, диаметр кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях, возраст. У деревьев с многоствольной формой роста перечисленные выше характеристики определялись отдельно для каждого стволика. Возраст

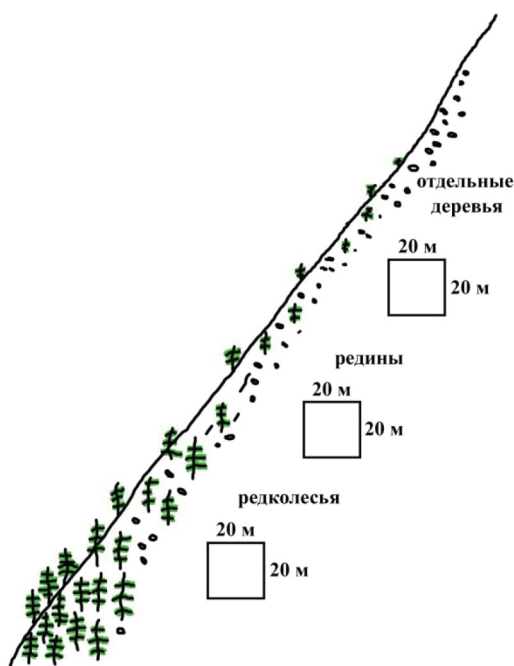


Рис. 1. Схема закладки высотного профиля  
Fig. 1. Diagram of the high-rise profile bookmark



Рис. 2. Общий вид изучаемых объектов  
Fig. 2. General view of the objects under study

устанавливался путем взятия радиальных кернов древесины (или спилов у подроста) у основания ствола дерева с последующим подсчетом и датировкой годовичных колец в лабораторных условиях [4]. Высота над уровнем моря и географические координаты макроплощадок определялись с помощью приемника GPS.

Анализ изменения климатических параметров в регионе проводился по данным метеорологической станции «Дудинка» (69°25'52"N86°10'11"E, расстояние до исследуемых объектов – 180 км).

В наших исследованиях на точность определения возраста деревьев влияют следующие основные факторы: эксцентричная форма поперечного сечения ствола, различия во времени достижения подростом высоты отбора образцов (5–25 см), ошиб-

ки в определении расстояния от гипокотеля до высоты бурения (положение гипокотеля относительно микроэлементов рельефа с увеличением возраста дерева меняется). Поэтому нет оснований считать, что возраст деревьев определен с точностью до 1 года. Вследствие этого для получения более надежных результатов все деревья лиственницы на пробных площадях были объединены в 5-летние возрастные группы. Таким образом, было известно общее количество деревьев, появившихся в то или иное 5-летие в течение последних столетий [5]. К подросту относили деревца высотой до 1,5 м.

В целом по завершении работ были определены таксационные показатели 304 деревьев и 58 кустов ольхи кустарниковой, для 227 деревьев и 56 кустов ольхи кустарниковой установлен возраст.

### Результаты исследования и их обсуждение

С целью выявления особенностей формирования древостоев верхней границы леса и зарослей кустарников нами были детально изучены состав насаждений, густота и возрастная структура древостоев, подроста и зарослей кустарников на заложенных пробных площадях.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что по мере продвижения в гору (по мере ухудшения условий для роста) наблюдается закономерное изменение (уменьшение) средних таксационных показателей как ольхи кустарниковой, так и лиственничных древостоев: диаметр у основания у ольховника и лиственницы уменьшается в 2 раза, средняя высота – в 1,5–2,0 раза, диаметр кроны – у ольхи кустарниковой не изменяется, у лиственницы уменьшается в 2 раза. Средний

Таблица 1

Table 1

Средние таксационные показатели кустов ольхи и лиственницы на исследуемом профиле

Average taxation indicators of alder and larch bushes on the studied profile

Показатели Indicators	Лиственница Larch			Ольха Alder		
	Нижний уровень Lower level	Средний уровень Intermediate level	Верхний уровень Upper level	Нижний уровень Lower level	Средний уровень Intermediate level	Верхний уровень Upper level
Диаметр у основания, см	18,3 ± 0,8	11,1 ± 1,1	8,6 ± 0,7	5,8 ± 0,4	5,2 ± 0,3	3,4 ± 0,3
Средняя высота, м	8,4 ± 0,4	3,3 ± 0,5	3,3 ± 0,3	2,4 ± 0,1	2,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1
Диаметр кроны, м	2,9 ± 0,1	2,4 ± 0,3	1,4 ± 0,1	2,2 ± 0,2	2,6 ± 0,2	2,6 ± 0,5
Возраст, лет	176 ± 3	96 ± 12	53 ± 5	54 ± 6	53 ± 5	36 ± 6
Густота стволов, шт./га	875	812	875	675	1225	333
Густота куртин, шт./га	–	–	–	212	375	92

возраст ольхи кустарниковой уменьшается в 2 раза, лиственничных древостоев – в 3 раза. Густота деревьев на всех уровнях имеет близкие значения, у ольхи густота закономерно уменьшается от нижнего уровня к верхнему, однако достигает своего максимума на среднем уровне (1255 шт./га у стволов и 375 шт./га у куртин). Площадь проективного покрытия крон у лиственницы закономерно уменьшается. У ольхи наблюдается самая большая площадь на среднем уровне (2423,75 м<sup>2</sup>/га).

Анализ данных, представленных на рис. 3, показывает, что заселение исследуемого склона лиственницей началось еще в конце XVII в. На нижнем высотном уровне наиболее массовое заселение исследуемого участка склона происходило в период с 1830-х по 1865 гг., когда появилось 65 % ныне существующих деревьев. На среднем высотном уровне отдельные деревца лиственницы заселялись равномерно во всем периоде исследования с небольшим всплеском численности после 1950-х гг. XX в. На верхнем уровне наиболее массовое заселение деревьев происходило лишь во второй половине XX в.

Ольха кустарниковая на исследуемом участке склона на нижнем и среднем уровнях начала заселяться только в начале XX в. Наиболее массово этот процесс происходил после 1950-х гг.

Анализ данных метеостанции региона «Дудинка» (табл. 2, рис. 4) показал, что за период с 1906 по 2017 гг. произошло

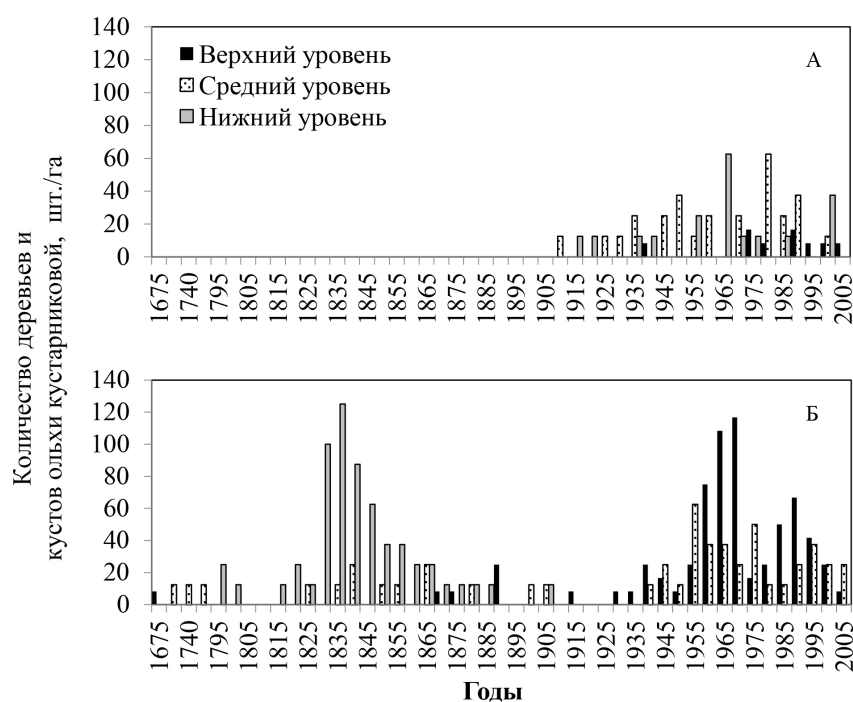


Рис. 3. Распределение количества кустов ольхи кустарниковой (А) и древостоев лиственницы (Б) на заложенном высотном профиле  
Fig. 3. Distribution of the number of alder bushes (A) and larch stands (B) on the laid height profile

Таблица 2

Table 2

Изменение приземной температуры воздуха по данным метеостанции «Дудинка» за период с 1906 по 2017 гг., °С  
Change in surface air temperature according to the data of the weather station «Dudinka» for the period from 1906 to 2017 years, °С

Месяц Month	Среднее Average 1906–1940	Среднее Average 1941–1980	Среднее Average 1981–2017	Разница конец и начало века The difference between the end and the beginning of the century
Январь	–27,7	–28,2	–27,1	0,6
Февраль	–24,8	–28,3	–26,1	–1,3
Март	–22,8	–23,0	–20,4	2,4
Апрель	–15,4	–14,8	–14,0	1,5
Май	–6,0	–5,7	–4,5	1,5
Июнь	4,7	5,5	7,2	2,5
Июль	12,6	13,8	14,1	1,5
Август	10,8	10,5	11,0	0,2
Сентябрь	3,8	3,9	4,1	0,4
Октябрь	–8,4	–8,1	–7,8	0,6
Ноябрь	–20,2	–21,6	–20,7	–0,5
Декабрь	–26,6	–25,6	–24,3	2,4



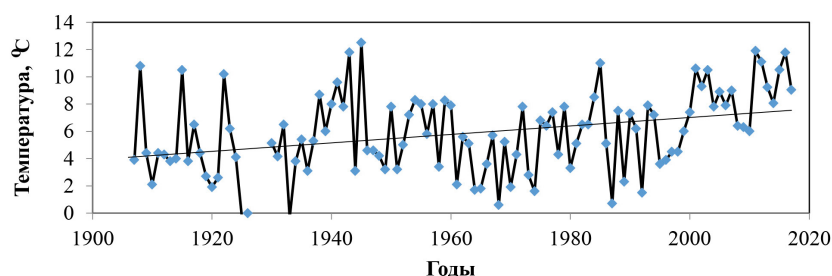


Рис. 4. Динамика средней температуры воздуха июня за период с 1906 по 2017 гг. по данным метеостанции «Дудинка»

Fig. 4. Dynamics of the average air temperature in June for the period from 1906 to 2017 according to the weather station «Dudinka»

заметное изменение в режиме приземной температуры воздуха. Так, температура мая увеличилась на 1,5 °C, июня – на 2,5 °C и июля – на 1,5 °C. В целом можно констатировать, что за рассматриваемый временной период произошло изменение в температурном режиме летних месяцев.

### Выводы

На склонах гор плато Путорана за последние 200 лет происходило смещение верхней границы распространения древесной растительности вдоль высотного градиента. Наиболее активная экспансия леса наблюдалась во второй половине XX в. Появление

кустарниковой растительности началось только в XX в., а наиболее массово – после 1950-х гг. Анализ данных метеостанции региона показал, что климат в районе исследований стал более теплым, особенно в летнее время года. Мы предполагаем, что смещению верхней границы распространения древесной и кустарниковой растительности вдоль высотного градиента наиболее вероятно могло способствовать общее изменение климатических условий в районе исследований.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 21-14-00137.*

### Библиографический список

1. Структура и динамика древостоев верхней границы леса в западной части плато Путорана / А. А. Григорьев, Н. М. Дэви, В. В. Кукарских [и др.] // Экология. – 2019. – № 4. – С. 243–254.
2. Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. – М.: Наука, 1985. – 208 с.
3. Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И. Физическая география СССР. Азиатская часть. – М., 1963. – С. 282.
4. Методы дендрохронологии. Ч. I : Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов, В. Б. Круглов, В. С. Мазепа, М. М. Наурзбаев, Р. М. Хантемиров. – Красноярск : КрасГУ, 2000. – 80 с.
5. Моисеев П. А., Бартыш А. А., Нагимов З. Я. Изменения климата и динамика древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. – 2010. – № 6. – С. 432–443.

### Bibliography

1. Structure and dynamics of trees of the upper forest border in the western part of the Putorana plateau / A. A. Grigoriev, N. M. Davi, V. V. Kukarskikh [et al.] // Ecology. – 2019. – № 4. – P. 243–254.
2. Gorchakovskiy P. L., Shiatov S. G. Phytoindication of environment conditions and natural processes in highlands. – M.: Science. – 1985. – 208 p.
3. Gvozdetskiy N. A., Mikhaylov N. I. Physical geography of the ussrasianpart. – M., 1963. – 80 p.
4. Methods of dendrochronology. Part I. Basics of dendrochronology. Collection and receiving tree-rings information / S. G. Shiyatov, E. A. Vaganov, A. V. Kirdeyanov, V. B. Kruglov, V. S. Mazepa, M. M. Naurzbaev, R. M. Hantemirov. – Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State University, 2000 – 80 p.
5. Moiseev P. A., Bartysch A. A., Nagimov Z. Y. Climate changes and tree growth dynamics at the upper limit of their growth in the mountains of the Northern Urals // Ecology. – 2010. – № 6. – P. 432–443.